

UTILIZACIÓN DE UN MODELO ANALÓGICO PARA FACILITAR LA COMPRENSIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE DISOLUCIONES. PRIMEROS RESULTADOS

RAVIOLO, ANDRÉS; SIRACUSA, PAULA; GENNARI, FABIANA y CORSO, HUGO

Universidad Nacional del Comahue. Bariloche. Río Negro. 8400 Argentina

araviolo@bariloche.com.ar

Resumen. Estudiantes de distinto nivel educativo presentan dificultades en el tema de las disoluciones y, en particular, en la preparación de disoluciones a partir de una más concentrada. Con el objeto de superar esas dificultades, en este trabajo se presentan el modelo de cuadros y puntos (MCP) y los resultados de la experiencia didáctica llevada a cabo con estudiantes universitarios de un curso introductorio de química general. En este estudio, fundamentalmente descriptivo, se obtuvo información de la observación del desempeño de los alumnos en las actividades y del análisis de las respuestas a un cuestionario contestado por los participantes. El desarrollo de la actividad permitió introducir mejoras a la misma a partir de los aportes de los estudiantes que, en síntesis, manifestaron que el MCP les resultó útil para mejorar la comprensión del concepto de *concentración* y del proceso de preparación de la disolución.

Palabras clave. Modelo analógico, preparación de disoluciones volumétricas, experiencia didáctica.

Summary. Students of different educational levels have difficulties with the subject of dissolutions, particularly in the preparation of a dissolution from a more concentrated one. To overcome these obstacles, in this work we introduce a model of squares and points (MSP), and present the results of the didactic experience with university students of an introductory course of General Chemistry. In this study, we obtain information from the performance of the students in the activities and from their replies to a questionnaire. The analysis of the results allows us to introduce improvements in the didactic experience, based on the students' contributions. They expose that the MSP was useful to enhance the understanding of the concentration concept and the process of solutions preparation.

Keywords. Analogical model, volumetric dissolutions preparation, didactic experience.

INTRODUCCIÓN

Las analogías se usan, en la enseñanza, para comunicar conceptos nuevos y abstractos, dado que las analogías permiten transferir conocimientos de unas áreas a otras, de un área conocida por el estudiante a otra desconocida, facilitando la visualización de un dominio abstracto (Duit, 1991).

El uso de una analogía consiste en la comparación de estructuras entre dos dominios: un dominio conocido o familiar (análogo-base) y un dominio desconocido o no familiar (análogo-objetivo). El análogo-base es previamente conocido, o premeditadamente se hace conocer, con el objetivo de que, a partir de sus similitudes o co-

rrespondencias con el análogo-objetivo permita acceder o aprender sobre ese nuevo o parcialmente nuevo dominio de conocimiento. Por ejemplo, la analogía entre el sistema solar y la estructura del átomo según Bohr.

El análogo-base puede ser presentado con esa intención por otros, por ejemplo, a través de un juego, un experimento, una historia, un modelo, etc.

El objetivo de este trabajo es presentar el modelo de cuadros y puntos (MCP) y verificar su eficacia como analogía para la comprensión del concepto de *concentración* y de los cálculos y procedimientos de preparación de una

disolución volumétrica. En este sentido, se espera que las actividades propuestas ayuden al estudiante a afianzar el concepto de *concentración* y le permitan asimilar el procedimiento de preparación de una disolución por dilución de una más concentrada.

Para la enseñanza química, el estudio de las disoluciones constituye un tema central y básico, dado que muchas reacciones químicas se realizan poniendo en contacto reactivos que se encuentran disueltos. Por ello, el conocimiento de las disoluciones representa un prerrequisito para avanzar en el desarrollo habitual del currículo de química; por ejemplo, en temas como: equilibrio ácido-base, termoquímica y electroquímica.

El modelo de cuadros y puntos, como su nombre lo indica, asigna a cuadrados iguales la unidad de volumen de solución y a puntos iguales la unidad de masa de soluto; la cantidad de puntos por unidad de volumen constituye la unidad de concentración (u.m/u.v) (Actividad 1 del Anexo). Este modelo está inspirado en el trabajo de Smith, Snir y Grosslight (1992), que presentaron un modelo similar para el concepto de *densidad* (*grid-and-dots model*). Estos autores persiguieron el objetivo de representar visualmente la densidad, de modo tal que dicho modelo está construido sobre una analogía visual que tiene la misma estructura de relaciones que el concepto físico abstracto de *densidad*.

De acuerdo con la tipología de los modelos usados en las clases de ciencias presentada por Harrison y Treagust (2000), el MCP puede ser considerado como un modelo analógico pedagógico: «analógico», porque el modelo comparte información con el objetivo, y «pedagógico», porque forma parte de las explicaciones que dan los profesores sobre entidades no observables a los estudiantes. Los autores aclaran que, dado que los modelos analógicos reflejan para ciertos atributos una correspondencia punto a punto entre el análogo y el objetivo, frecuentemente son simplificados o exagerados con el fin de resaltar estos atributos conceptuales.

Dificultades en el aprendizaje del tema de las disoluciones

Varios estudios han mostrado que alumnos de secundaria no tienen una adecuada comprensión de las disoluciones (Gabel y Bunce, 1994); las dificultades se presentan también con alumnos de primer año de la universidad.

Una disolución es una mezcla homogénea, de composición variable, entre uno o varios solutos que son disueltos en un solvente. En este proceso, la masa se conserva (la masa de la mezcla es igual a la suma de las masas de sus componentes) y el volumen no se conserva necesariamente. El aprendizaje de esta idea de conservación varía de acuerdo con el contexto en que se presentan las tareas. Por ejemplo, Gómez Crespo, Pozo y Sanz (1995) comprobaron que a estudiantes de secundaria les resultaba más fácil de comprender la conservación de las sustancias en la disolución cuando el problema

se planteaba en el contexto cotidiano que en el contexto químico; sin embargo, para la conservación de la masa ocurría lo contrario, a los estudiantes les resultaba más sencillo conservar la masa en la disolución en situaciones químicas.

La concentración de una disolución es directamente proporcional a la cantidad de soluto e inversamente proporcional al volumen de la disolución. Esta doble dependencia es una de las responsables de las dificultades que tienen los estudiantes al resolver problemas de disoluciones. Por ejemplo, suelen fijar su atención sólo en una de las dos variables, o les resulta más sencillo resolver problemas donde cambia únicamente la cantidad de soluto (Pozo et al., 1991).

En la enseñanza y aprendizaje de una razón (relación, ratio) como la concentración deben tenerse en cuenta cuatro aspectos (Stavy, 1981): *a*) la función directa: un incremento en la cantidad de soluto aumenta la concentración; *b*) la función inversa: un incremento en la cantidad de solvente decrece la concentración; *c*) la proporción: un incremento en ambas cantidades de soluto y solvente, en la misma proporción, no cambia la concentración; y *d*) la intensidad: un cambio en la cantidad de solución de una concentración dada no cambia su concentración. Con respecto al aprendizaje de estos aspectos, los resultados de un estudio que llevó adelante esta autora, con alumnos menores de 14 años, mostraron que la principal dificultad para comprender el concepto de *concentración* estaba conectada con la dificultad de comprender la función inversa.

Los cálculos y procedimientos para preparar una disolución volumétrica no resultan sencillos a los estudiantes. Esto se debe a que requieren razonamientos de proporcionalidad, de conservación y de operar con una magnitud como la concentración, que es una relación entre otras dos variables. Al preparar una disolución, el estudiante debe comprender que el volumen pipeteado de la solución concentrada es después diluido con el solvente hasta lograr la concentración solicitada; en este proceso de dilución se conserva la cantidad absoluta de soluto pero varía su proporción dentro de la mezcla.

Se aprecia, sin embargo, que las dificultades que presentan los estudiantes en el proceso de preparar disoluciones de distintas concentraciones han sido poco tratadas en la bibliografía. Algunas dificultades observadas en alumnos universitarios ante tareas de preparación de soluciones son:

– Cuando el problema menciona como datos la concentración de la solución a preparar y la concentración de la solución concentrada, no saben por dónde empezar a plantear su resolución. Algunos comienzan los planteos con la concentración de solución concentrada sin tomar en cuenta la concentración final a la que se desea llegar, camino que los conduce a errores. Por ejemplo, si el problema pide preparar 500 mL de una disolución 10% m/v a partir de una 25% m/v del mismo soluto, comienzan relacionando 25 g en 100 mL, entonces en 500 mL tendrán 125g y, por último, 10 g en un volumen «x», cuando

todas estas disoluciones tienen la misma concentración 25% m/v.

– Utilizan, en los planteos, unidades de concentración en lugar de las unidades de soluto; por ejemplo, si se les solicita que preparen 500 mL de una solución 1 M (1 molar), escriben 1M en 1000 mL y, por lo tanto, en 500 mL: 0,5M, cuando ambas soluciones son 1M. Esto constituye una confusión entre cantidad de sustancia y concentración, que puede englobarse en la confusión general: cantidad (extensiva) - concentración (intensiva), reconocida en otros estudios (Wheeler y Kass, 1978; Bergquist y Heikkinen, 1990; Huddle y Pillay, 1996).

Analogías y enseñanza de las disoluciones

Gabel y Samuel (1986) usaron problemas con molaridad y problemas análogos sobre la disolución de limonada y observaron que alumnos de secundaria eran capaces de resolver ambos tipos de problemas cuando eran simples; sin embargo, cuando estos problemas se complejizaban, por ejemplo, ante la evaporación o agregado de solvente, pocos estudiantes resolvían correctamente ambos tipos de problemas; lo que indicó que las dificultades de los estudiantes estaban relacionadas principalmente con la no-comprensión del concepto de *disolución* más que con la falta de comprensión del concepto de *mol*, como inicialmente se decía.

En otro estudio sobre mol y estequiometría, Friedel, Gabel y Samuel (1990) presentaron a los estudiantes problemas análogos que requerían, para su resolución, la utilización del método de factor unitario, tanto para el problema análogo como el objetivo. Observaron que este algoritmo puede convertirse en una rutina de resolución de problemas que no fomenta pensar sobre las relaciones entre el problema químico y el problema análogo. Sobre este aspecto, es decir, sobre los requerimientos matemáticos que incluye la tarea, se anticipa que el MCP permite inicialmente independizarse del algoritmo y recurrir a operaciones matemáticas sencillas como contar, sumar o multiplicar, y focalizar la atención en el concepto de *concentración* y en la comprensión de los pasos a seguir en la preparación de una disolución.

Con el uso de problemas análogos, para apoyar el aprendizaje de conceptos abstractos, debería asegurarse que los estudiantes: a) comprendan el problema análogo; b) vean las relaciones entre el análogo y el problema químico; y c) transfieran las habilidades de resolución desde el problema análogo al problema objetivo (Friedel, Gabel y Samuel, 1990). Estas acciones fueron consideradas en este estudio, dado que la propuesta de enseñanza primero se dedica a enseñar el modelo análogo, luego fomenta la transferencia del proceso y, por último, solicita a los estudiantes que mencionen los aspectos en que se corresponden el análogo con el objetivo.

En general, cualquier secuencia de aprendizaje mediante analogías debería incluir tres etapas (resumidas por Oliva y otros, 2001; basándose en los trabajos de Duit, 1991 y Dagher, 1995):

a) Génesis de la analogía propiamente dicha, abarcando la delimitación del objetivo y del análogo y el establecimiento de relaciones entre ambos.

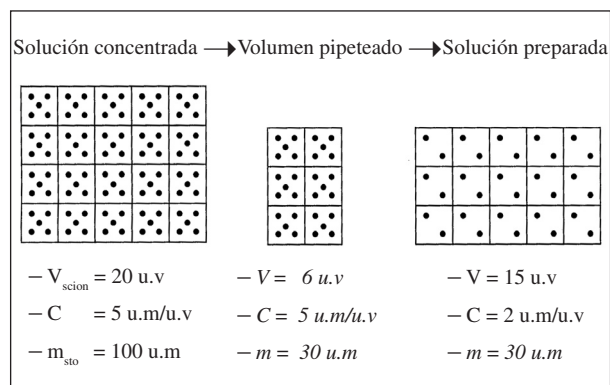
b) Aplicación de la analogía para obtener conclusiones que permitan conocer mejor el análogo y el objetivo, e incluso poder llegar a realizar predicciones.

c) Establecimiento de diferencias entre el objetivo y el análogo y de las limitaciones de la analogía.

El modelo de cuadros y puntos

Como ya se mencionó, el propósito de este trabajo es la presentación del MCP y su uso como problema-análogo para, como analogía, resolver el problema-objetivo de preparación de una solución en unidades de concentración % m/v (Anexo). Entre ambos problemas existe una estructura de correspondencias, que, en este caso, expresan pasos del procedimiento de preparar una solución volumétrica.

Luego que los estudiantes incorporan las características del modelo, se les presenta el siguiente problema: ¿Cómo prepararía 15 u.v de una solución 2 u.m/u.v a partir de una solución del mismo soluto 5 u.m/u.v? Representar la solución a preparar y el volumen pipeteado, cuya resolución esquemática es (en cursiva las incógnitas calculadas):



El volumen pipeteado contiene la cantidad necesaria de soluto para preparar la solución requerida, aspecto en que los estudiantes suelen presentar dificultades.

Estos tres diagramas ayudan al estudiante a visualizar el proceso de preparación de una solución a partir de otra más concentrada. El modelo permite construir una imagen mental de las etapas: a) situación de partida (solución concentrada inicial); b) situación de llegada (volumen final de concentración requerida –más diluida–); y c) la cantidad a transferir (volumen a pipetear). Una ventaja adicional del MCP es que no presenta dificultad matemática dado que permite realizar los cálculos a través de razonamientos simples, como contar, sumar o multiplicar, o bien, de acuerdo con el usuario, a través de la proporcionalidad («regla de tres», factor unitario).

Además las actividades con el MCP afianzan la comprensión del concepto de *concentración* y de *conservación de cantidades*. El modelo permite visualizar la conservación de las sustancias, en particular la del soluto y la conservación de la masa; por ejemplo, la conservación de la cantidad de soluto cuando se adiciona agua al volumen pipeteado de la disolución concentrada.

Por último, es importante que el estudiante sea conciente de que está usando en forma analógica un modelo que tiene aspectos que se corresponden con el fenómeno que representa pero también, como todo modelo, tiene sus limitaciones. Por ello, se incorpora en el cuestionario una pregunta sobre este aspecto. A modo de ejemplo, se destacaron, inicialmente, los siguientes aspectos análogos (que se corresponden o comparten con el fenómeno):

- La masa es extensiva.
- El volumen es extensivo.
- La concentración es intensiva.
- El procedimiento sigue la misma secuencia de pasos.
- Las unidades de masa y de volumen son iguales entre sí.

Entre las limitaciones (no correspondencias) se resaltaron:

- El modelo es plano (en dos dimensiones), la realidad es tridimensional.
- La masa no es puntual, se encuentra distribuida (el modelo no representa moléculas o iones de soluto).
- El solvente no está representado, posee también masa.
- El modelo no representa el agregado de solvente, el enrase.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se lleva adelante un estudio descriptivo basado en la observación de los estudiantes durante la realización de las actividades de enseñanza y utilización del MCP, y también basado en el análisis de las respuestas dadas por ellos a un cuestionario final de autoevaluación del proceso. Interesa evaluar la eficacia del modelo a través, fundamentalmente, de las producciones y percepciones de los propios usuarios.

Procedimiento

Las actividades de enseñanza estaban incluidas en una guía de trabajo de tres páginas (Anexo).

Las actividades a realizar por los alumnos se agrupan en cuatro etapas:

- 1) Presentación del modelo (actividades 1-4).
- 2) Presentación del problema-análogo (actividad 5, aplicación del MCP en la preparación de una solución volumétrica).

3) Presentación del problema-objetivo (actividad 6, preparación disolución en porcentaje masa en volumen y actividad 7, que solicita aclaraciones acerca del problema 6).

4) Cuestionario de autoevaluación.

El profesor interviene en las actividades 1 a 5 brindando todas las explicaciones que le son requeridas y culmina con un cierre explicativo del modelo al finalizar la actividad 5, donde resalta cómo se empleó este modelo en la preparación de la solución. Las actividades 6 y 7 y el cuestionario de autoevaluación son de ejecución individual, sin la participación del profesor, más allá de brindar alguna aclaración sobre las consignas en general si se le demandan.

Luego de resolver las siete primeras cuestiones, se solicita a los participantes de este estudio que completen el cuestionario. Este cuestionario pregunta, en primer lugar, sobre sus percepciones acerca de la facilidad en comprender el MCP, dado que se considera esencial que el estudiante comprenda primeramente el modelo-análogo. Luego indaga sobre si el MCP les sirvió para comprender y resolver el problema de preparación de la solución en % m/v, aspecto central de este estudio. Finalmente, las actividades y el cuestionario se retiran para su corrección y análisis.

Contexto de aplicación

En la actividad participaron 32 estudiantes universitarios de primer año, de la asignatura Introducción a la Química, pertenecientes a un grupo completo del ciclo básico de las carreras de Ingeniería, con un promedio de edad de 19,7 años. Estos alumnos se presentaron, algunas semanas después de esta actividad, al primer examen parcial de la asignatura donde una de las cuestiones evaluó la preparación de una solución volumétrica (cálculos y procedimiento) en unidades de concentración molar.

En nuestra región se supone que este tema es abordado en la secundaria y, en este caso particular, también fue tratado en un curso de ingreso de nivelación a la universidad, cuya asistencia era voluntaria.

La actividad con el MCP se realizó después que los alumnos habían preparado algunas soluciones gravimétricas en el laboratorio, después de haber preparado disoluciones pesando solutos sólidos y disolviéndolos en agua, y antes de preparar y resolver problemas sobre disoluciones volumétricas. Al ser estudiantes que cursaban sus primeras semanas en la universidad tampoco habían tenido oportunidades de discutir en ésta y en otras asignaturas el concepto de *modelo*.

RESULTADOS

De la observación de la actividad

La duración total de la tarea fue aproximadamente de una hora y media. Durante la realización de las activida-

des se fueron perfeccionando algunas cuestiones metodológicas. Por ejemplo, se hizo un cierre parcial después de la actividad 4 con el fin de consolidar la presentación del modelo, antes de que comenzaran a aplicarlo en la preparación de disoluciones.

Se observó que los estudiantes no presentaron dificultades para comprender el modelo en las actividades 1 a 3. Todos las hicieron correctamente. Para la actividad 4 se les recordó el significado de propiedad extensiva e intensiva. Estas actividades contribuyeron a consolidar el concepto de *concentración*, dado que en las mismas tienen que reconocer su intensidad frente a la extensividad de la masa de soluto y volumen de solución.

Antes de la actividad 5, de preparación de una solución volumétrica aplicando el MCP, el material incluye un párrafo donde se explica el procedimiento experimental. Se percibió como necesario complementar esa explicación con un dibujo de una botella (de la solución concentrada), un matraz aforado (para la solución a preparar) y una pipeta (para el volumen a retirar de la solución concentrada). Con esto se da un apoyo a nivel macroscópico (experimental, perceptivo), a través de palabras e imágenes. Esta explicación persiguió el objetivo de homogeneizar los conocimientos previos de los alumnos, dado que muchos han visto, en algún grado, el procedimiento de preparar una solución volumétrica o bien en la secundaria o en el curso de ingreso. De cualquier manera, la experiencia nos dice que este tipo de explicación no es suficiente para que la mayoría de los estudiantes planteen y resuelvan exitosamente este problema. Posteriormente fueron los mismos estudiantes que evaluaron si el modelo les resultó útil en comprender este proceso.

La mayoría de los alumnos resolvió la actividad 5, con procedimientos matemáticos simples: contar, sumar y multiplicar. Por ello, con el cierre que realiza el profesor de la actividad 5, se vio oportuno incluir los cálculos usando «regla de tres» y el factor unitario para después facilitar la transferencia de los cálculos en el problema en % m/v.

Durante el problema 6 se recordó a los estudiantes qué significaba la unidad de concentración % m/v para que no fuera esto un inconveniente para resolver el problema.

Para nuevas versiones de la guía de trabajo, seguramente resulte oportuno agregar otro ejercicio con el MCP después de la explicación del 5, para consolidar el procedimiento; y también otro problema objetivo, por ejemplo con unidades de molaridad (después del problema 7), también recordando lo que significa esta unidad de concentración. Así mismo, teniendo en cuenta la importancia de la función inversa, es decir, el hecho de que la concentración es inversamente proporcional a la cantidad de solvente, se puede agregar a la primera parte una actividad que apoye la construcción del modelo y del concepto de *concentración*, como, por ejemplo, la siguiente:

– Se tienen 10 u.v. de una solución concentrada 6 u.m/u.v. con el agregado de solvente se lleva el volumen de solución a 30 u.v. ¿Cuál es la concentración de la nueva disolución? Representar.

De las actividades y el cuestionario

De esta muestra de 32 alumnos, el 66% declaró, en el cuestionario, que habían visto con anterioridad el proceso de preparación de una solución volumétrica, pero la mayoría de ellos no lo recordaba (44%) o lo resolvía en forma mecánica sin entenderlo (6%). Un 34% de los encuestados sostuvo que nunca se les había enseñado a preparar soluciones midiendo volúmenes. En definitiva, aproximadamente 4 de cada 5 alumnos afirman desconocer, o bien no comprender bien, este proceso.

Luego de las actividades con el MCP, el 91% de los estudiantes resolvió correctamente el problema en % m/v, sólo dos alumnos lo resolvieron mal (6%) y uno no lo hizo (3%). El 88% contestó bien la actividad 7, donde se solicitaba que completaran algunos aspectos del proceso empleado en la actividad 6, y cuatro alumnos no la hicieron (12%). Los dos alumnos que resolvieron el problema 6 incorrectamente partieron, en sus planteos, de la concentración de la solución concentrada, lo que los condujo a resultados erróneos.

Casi la totalidad de los encuestados evaluaron que el MCP les resultó fácil de comprender (94%), y un 66% argumentó que les sirvió para comprender y resolver el problema de preparación de la solución en % m/v. Un 9% afirmó que les sirvió parcialmente y el 25%, que no les sirvió.

Fueron diversas las razones que expresaron los dos tercios de la muestra para los que el modelo fue de utilidad. Entre los argumentos brindados por los estudiantes se destacan cuatro:

- a) para visualizar y comprender el procedimiento de preparar la solución (44%);
- b) para visualizar y comprender el concepto de *concentración* (31%);
- c) para visualizar y comprender los cálculos (22%);
- d) para comprender el problema en general (12%).

La suma de porcentajes es mayor al 100%, dado que algunos daban más que una razón. A continuación se transcriben algunas afirmaciones de los alumnos:

Para visualizar y comprender el procedimiento de preparar la solución (44%)

«Me dio una guía acerca de los pasos a seguir en la resolución del problema real»

«Porque el modelo ayuda a entender los pasos a seguir en este tipo de problema»

«Lo usé de guía para darme cuenta qué tengo que sacar en primera instancia para llegar hasta la solución final»

«Sí, por los pasos que debía emprender»

«Me sirvió porque primero busqué lo que necesitaba de soluto para mi solución y luego la cantidad de volumen a pipetear»

«Sí, porque me mostró el procedimiento a realizar».

Para visualizar y comprender el concepto de concentración (31%)

- «Se ve claramente el concepto de concentración»
- «Se identifican fácilmente las cantidades del soluto, el solvente y la concentración de la solución»
- «Es muy fácil de observar la concentración»
- «Para ver las concentraciones y poder comprenderlo»
- «Uno entiende lo que es cantidad y su relación con el volumen».

Para visualizar y comprender los cálculos (22%)

- «Porque eran simples cálculos matemáticos»
- «Gráficamente se me hace más fácil que con cálculos»
- «Me resultó fácil calcular las unidades»
- «Se ven de forma clara los dos cálculos que hace mención el punto 7»
- «Porque te muestra gráficamente las soluciones y se simplifican las cuentas».

Para comprender el problema en general (12%)

- «Porque me facilitó la comprensión del problema»
- «Porque con este modelo puede entender el problema»
- «Porque el modelo te lleva a imaginarte la situación y además a comprenderla».

Es interesante observar que varios alumnos a los que el modelo no les resultó útil para resolver el problema, argumentan que la dificultad surgía de intentos de aplicar directamente el modelo, es decir, los cuadros y puntos a la situación real. Por ejemplo:

- «Sirvió para entenderlo, pero es más complicado de hacerlo porque los números de las soluciones son más grandes y es difícil de hacerlo con cuadros y puntos»
- «Las unidades de volumen de solución son muchas para representarlas, al igual que el número de unidades de masa de soluto, esto hace muy pesado la resolución del problema»
- «No, porque es difícil representar las cantidades».

Esta confusión se puso de manifiesto durante la realización de la actividad cuando algún estudiante preguntó si debían hacer los dibujos en el problema en % m/v.

Esta indiferenciación entre modelo y realidad es frecuente ante la presentación de modelos en la enseñanza. La analogía entre el modelo y el problema real consiste en la correspondencia de estructura entre ambos, en este caso, especialmente lo que se refiere a la secuencia de pasos a seguir del procedimiento. Sin embargo, algunos estudiantes intentaron transferir directamente los elementos del análogo-base, los cuadros y puntos, al sistema objetivo. En la siguiente respuesta se trasluce la tensión entre estos aspectos:

«El modelo de cuadros y puntos me sirvió solamente para darme una idea de lo que tenía que hacer pero en realidad para resolverlo no pensé en los cuadros sino en las relaciones de concentración y volumen.»

Si se realiza una comparación de los resultados obtenidos en la guía de trabajo sobre el MCP con los resultados obtenidos en la evaluación parcial de la asignatura, se aprecia que es mayor el porcentaje de alumnos que desaprobaron el parcial en general (22%) que los alumnos que no resolvieron correctamente el problema de preparación de soluciones (16%). A modo indicativo, este último porcentaje es notablemente menor a la media histórica de desaciertos en la resolución de este tipo de problemas en el primer parcial de la asignatura (aproximadamente 40%). Estos últimos datos no pretenden ser determinantes, tan sólo indicativos, dado que interesa en este estudio la puesta a punto del modelo y fundamentalmente la percepción de los estudiantes sobre la comprensión y utilidad del MCP.

Entre los seis alumnos que no aprobaron el problema de preparación de una solución en molaridad en el examen parcial, cuatro habían afirmado que el MCP no les sirvió en la resolución del problema en % m/v. Por ejemplo, uno de ellos decía: «No me sirvió, analíticamente es más sencillo.» Sin embargo, no pudo resolverlo correctamente en ninguna de las dos instancias de que dispuso. Probablemente estos alumnos no pudieron acceder a comprender el proceso de correspondencia analógica entre los problemas análogo y objetivo.

Correspondencias y limitaciones del MCP

Entre las ideas que propusieron los estudiantes sobre las correspondencias y las limitaciones (aspectos que no compartían) del modelo con el problema químico, se repitieron algunas de las afirmaciones que se usaron para explicar estas dos cuestiones (3, 4) en el cuestionario de autoevaluación: fundamentalmente que, tanto en el modelo como en la realidad, el volumen y la masa son extensivas y la concentración intensiva, o que el modelo es bidimensional y la realidad tridimensional. Sin embargo, los estudiantes mencionaron limitaciones que no habían sido tenidas en cuenta al comienzo. Estos aportes son muy originales y se enumeran a continuación:

- En el MCP se pueden sumar volúmenes porque son todas las unidades de volúmenes iguales, hay aditividad de volúmenes.
- En el modelo, las cantidades son discretas, son números enteros. El modelo no da lugar para incluir el error de medición.
- Las unidades de volumen son únicas y, en caso de fraccionarlas, el modelo deja de tener utilidad porque el número de puntos es discreto.
- En el modelo se distingue el soluto; en una disolución, no. En este sentido, el modelo se ve como heterogéneo, se puede ver el soluto.

– El MCP da el volumen de la solución concentrada; sin embargo, no es un dato relevante en la preparación real de una solución, mientras haya lo suficiente.

El reconocimiento de las limitaciones del modelo junto con la utilidad del mismo pone de manifiesto una desarrollada capacidad de abstracción y comprensión del proceso de modelización. Además, la elaboración de argumentaciones da oportunidad para que los alumnos utilicen lenguaje científico y relacionen el problema con otros conceptos recientemente abordados por la asignatura (error de medición, sistemas homogéneos y heterogéneos, noción de discreto-continuo).

Noción de modelo

Por último, el cuestionario incluyó una pregunta con el objeto de explorar la noción de modelo de los estudiantes. Las ideas o palabras que se extraen de sus respuestas y la frecuencia con que aparecieron se muestran a continuación:

- representación de la realidad o de fenómenos: 11
- simplificación: 8
- para explicar o interpretar: 8
- para entender y comprender: 8
- ayuda y facilitador: 7
- creación o construcción del hombre: 4
- ideal: 4
- permite prescindir de trabajar directamente con el fenómeno: 3
- imitación, mayor semejanza posible con la realidad: 3
- permite acceso a lo que es complejo de ver: 3
- para describir: 2
- para predecir: 2
- herramienta o instrumento: 2
- matematiza: 2
- representación de una teoría: 2
- validez verificable por experimentación: 2
- bosquejo, anterior al experimento: 2
- exacto, perfecto: 2
- método o proceso: 2
- para mostrar, comunicar: 1
- para afrontar un problema: 1
- una ley o regularidad: 1
- el experimento más representativo: 1
- surge de un experimento: 1
- ejemplifica un experimento: 1
- modificable: 1
- descartable: 1
- distintos modelos para un mismo fenómeno: 1.

Con las respuestas más frecuentes se puede confeccionar la definición de *modelo* más compartida por este grupo: «Un modelo es una representación simplificada de la realidad, creada por el hombre, para explicar, comprender y ayudar en el estudio de fenómenos». Esta definición es apropiada como punto de partida, aunque no incluye otras características importantes de los modelos como su función predictiva (Van Driel y Verloop, 1999). Además algunas de estas ideas son compartidas con otras afirmaciones que no son del todo apropiadas: como su relación con la experimentación (p. e.,

un modelo surge de un experimento), o su asociación con situaciones ideales o exactas, o que debe asemejarse lo más posible con la realidad o imitarla.

Esta concepción del modelo como ideal puede ser interpretada desde un punto de vista adecuado, al suponer que el «ideal» hace referencia a que el modelo está construido sobre una serie de simplificaciones de la compleja realidad. Sin embargo, algunos participantes de este estudio conciben a la característica ideal de los modelos como perfecto, idílico o exacto: «el modelo es ideal»; «modelo ideal y exacto»; «es muy idealista y simplista»; «el modelo es ideal, la realidad no»; «hay más errores en la realidad, porque en la preparación de soluciones hay factores que la alteran, como la presión, la temperatura, etc. y no como en el modelo, que es todo perfecto».

Se vislumbra que esta característica de los modelos la conciben más como un defecto de los mismos y no como un atributo sobre el cual se basa su utilidad.

De esta idea de modelo como lo ideal, en el sentido de perfecto y exacto, pueden explicarse otras respuestas del tipo de que el modelo es algo a imitar o algo a copiar («un modelo sería el experimento más representativo», «la imitación de algo que quiero representar») y los intentos de aplicarlo literalmente en la resolución del problema-objetivo.

En síntesis, el conocimiento que tienen sobre los modelos en ciencia es limitado y puede incluir inconsistencias.

CONCLUSIONES

En general los alumnos presentan dificultades con el concepto de *concentración* y con el procedimiento de preparación de disoluciones, incluso en el primer año de la universidad, a la que ingresan sin una acabada comprensión conceptual de estos aspectos.

A los estudiantes involucrados en este estudio, el MCP les resulta sencillo de aprender y, a la mayoría, le es de utilidad para resolver el problema de preparación de una disolución en % m/v. A modo indicativo, esta muestra de alumnos obtuvo un rendimiento mayor en esta cuestión con respecto a las otras cuestiones evaluadas en el examen parcial y con respecto a los resultados obtenidos por grupos de alumnos en años anteriores.

Los estudiantes perciben distintas utilidades del modelo, como la ayuda para visualizar los pasos a seguir en el procedimiento de preparación de disoluciones, la comprensión del concepto de *concentración* o la ayuda en los cálculos. Es decir, rescatan fundamentalmente algunos de los aspectos que el modelo simplifica de la realidad. La percepción de no encontrar utilidad en el modelo mencionada por algunos encuestados estuvo unida a su incapacidad de separar modelo y realidad, dado que ellos quisieron representar con cuadros y puntos la concentración % m/v. Es decir, transfirieron al problema-objetivo atributos textuales del problema-análogo,

en lugar de transferir la estructura de correspondencias entre ambos.

El modelo mejora también la comprensión de los aspectos conceptuales cualitativos de las disoluciones, como se puso de manifiesto en la resolución de las actividades, por ejemplo, la intensidad de la concentración y la conservación de la masa, superando el enfoque cuantitativo con que casi exclusivamente se enseñan las disoluciones en el contexto educativo (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Teniendo en cuenta

que este estudio es preliminar, para continuar esta línea de trabajo, se percibe como necesario ampliar la muestra de alumnos e indagar su utilidad con alumnos de nivel medio.

La realización de la propuesta permitió incluir mejoras durante su desarrollo y para nuevas versiones de la misma. También se espera seguir contribuyendo con otras analogías a profundizar el acercamiento a las formas de concebir y utilizar los modelos por parte de los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGQUIST, W. y HEIKKINEN, H. (1990). Student ideas regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67(12), pp. 1000-1003.
- DAGHER, Z. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, 79(3), pp. 295-312.
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), pp. 649-672.
- FRIEDEL, A., GABEL, D. y SAMUEL, J. (1990). Using analogs for chemistry problem solving: does it increase understanding? *School Science and Mathematics*, 90(8), pp. 674-682.
- GABEL, D. y BUNCE, D. (1994). Research on problem solving: chemistry, en Gabel, D. (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nueva York: MacMillan.
- GABEL, D. y SAMUEL, K. (1986). High school students' ability to solve molarity problems and their analog counterparts. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(2), pp. 165-176.
- GÓMEZ CRESPO, M., POZO, J. y SANZ, A. (1995). Students' ideas on conservation of matter: effects of expertise and context variables. *Science Education*, 79(1), pp. 77-93.
- HARRISON, A. y TREAGUST, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1011-1026.
- HUDDLE, P. A. y PILLAY, A. E. (1996). An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), pp. 65-77.
- OLIVA, J., ARAGÓN, M., MATEO, J. y BONAT, M. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), pp. 453-470.
- POZO, J., GÓMEZ, M., LIMÓN, M. y SANZ, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: CIDE-MEC.
- POZO, J. y GÓMEZ CRESPO, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- SMITH, C., SNIR, J. y GROSSLIGHT, L. (1992). Using conceptual models to facilitate conceptual change: the case of weight-density differentiation. *Cognition and Instruction*, 9(3), pp. 221-283.
- STAVY, R. (1981). Teaching inverse functions via the concentrations of salt water solution. *Archives de Psychologie*, 49, pp. 267-287.
- VAN DRIEL, J. y VERLOOP, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), pp. 1141-1153.
- WHEELER, A. y KASS, H. (1978). Student's misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62(2), pp. 223-232.


[Artículo recibido en enero de 2003 y aceptado en marzo de 2004]

ANEXO

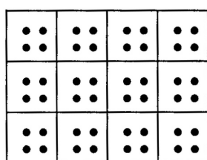
Actividades

Objetivo: presentación y utilización de un modelo para aprender a preparar soluciones volumétricas.

1) Presentación del modelo de cuadros y puntos

Cuadro:  unidad de volumen de solución (u.v)

Punto:  unidad de masa de soluto (u.m)



$$V_{\text{sol}} = 12 \text{ u.v}$$

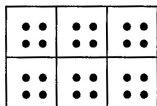
$$m_{\text{sto}} = 48 \text{ u.m}$$

$C \Rightarrow$ concentración: núm. de puntos por cuadrado

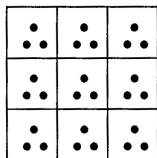
$$C = 4 \text{ u.m/ u.v}$$

2) Representar 10 u.v de una solución de concentración 6 u.m/u.v.

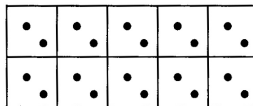
3) Dadas las siguientes tres situaciones:



A



B



C

- ¿En qué recipiente hay mayor volumen de solución?
- ¿En qué recipiente hay mayor masa de soluto?
- ¿En qué recipiente hay mayor concentración?

4) Clasifica la masa de soluto, el volumen de solución y la concentración en propiedades extensivas e intensivas de la solución.

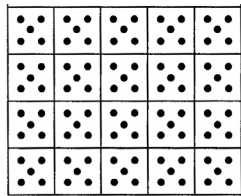
Preparación de una solución volumétrica

volumétrica \Rightarrow midiendo volúmenes

Para preparar una solución a partir de una solución más concentrada del mismo soluto, es necesario calcular el volumen que se va a extraer (pipetear) de la solución concentrada que contenga la masa de soluto necesaria para preparar el volumen de solución requerida. A ese volumen pipeteado se agrega solvente (agua) hasta obtener el volumen final de solución. Por ello, el primer paso de este procedimiento será calcular la masa de soluto que se necesitará.

5) ¿Cómo prepararías 15 u.v de una solución 2 u.m/u.v a partir de una solución del mismo soluto 5 u.m/u.v? Representa la solución a preparar y el volumen a pipetear.

Solución concentrada → volumen a pipetear → solución preparada



- | | | |
|---------------------------------------|---------|---------------------------|
| - $V_{\text{scion}} = 20 \text{ u.v}$ | - | - $V = 15 \text{ u.v}$ |
| - $C = 5 \text{ u.m/u.v}$ | - | - $C = 2 \text{ u.m/u.v}$ |
| - $m_{\text{sto}} = 100 \text{ u.m}$ | - | - |

Observa que al volumen pipeteado se le agregará solvente hasta obtener 15 u.v de solución.

- 6) ¿Cómo prepararías 250 mL de una solución 8% m/v a partir de una solución del mismo soluto 25 % m/v?
- 7) a) Identifica y marca en la resolución del problema 6 los dos pasos principales de este procedimiento: cálculo de la masa necesaria y cálculo del volumen a pipetear.
- b) Para preparar dicha solución hubo que agregarle agua desde el volumen de mL hasta completar un volumen de mL.

Cuestionario

- 1) ¿El modelo de cuadros y puntos te resultó difícil de comprender? ¿Por qué?
- 2) ¿El modelo de cuadros y puntos te sirvió para comprender y resolver el problema 6? ¿Por qué?
- 3) Enumera los aspectos en que el modelo se corresponde con el fenómeno (lo análogo).
- 4) Enumera los aspectos en que el modelo no se corresponde con el fenómeno (las limitaciones).
- 5) ¿Qué entiendes por la palabra *modelo* utilizada en ciencia?
- 6) ¿Con anterioridad te habían enseñado a preparar una solución volumétrica a partir de una solución concentrada? ¿Lo recordabas?